

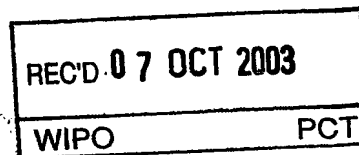
BEST AVAILABLE COPY

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Rec'd PCT/PTO 11 MAR 2005
PCT/DE 03/02813 #2

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



DE 03 / 02813

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

103 02 402.6

Anmeldetag:

21. Januar 2003

Anmelder/Inhaber:

Conti Temic microelectronic GmbH, Nürnberg/DE

Bezeichnung:

Photodetektor-Anordnung und Verfahren zur Stör-
lichtkompensation

Priorität:

13.9.2002 DE 102 42 690.2

IPC:

G 01 J, H 04 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

Beschreibung

Photodetektor-Anordnung und Verfahren zur Störlichtkompensation

5

Die Erfindung betrifft eine Photodetektor-Anordnung und ein Verfahren zur Störlichtkompensation, insbesondere bei differenzsignalauswertenden Verfahren.

10

In der optischen Messtechnik werden Szenen häufig aktiv beleuchtet. Die Informationen zur Erzeugung des Szenenbildes werden im Allgemeinen in einem Element zur Bildaufnahme, dem Bildaufnehmer, generiert. Die Art und Form der vom Bildaufnehmer erzeugten Signale ist dabei stark abhängig vom angewandten Messprinzip sowie dessen Realisierungsformen.

15

Bei Bild gebenden Verfahren, die die Differenz von zwei oder mehreren Signalen verwerten, kommt es in Abhängigkeit des jeweiligen Mess- bzw. Funktionsprinzips bei der Erzeugung der Signale zu nicht nutzbaren Gleichanteilen, die den zur Verfügung stehenden Dynamikbereich einschränken. Darüber hinaus addiert sich zu der aktiven Beleuchtung (z. B. Infrarotlicht, moduliertes oder nicht moduliertes Licht) ein Gleichanteil durch vorhandenes Störlicht (Hintergrundlicht der Sonne, andere Lichtquellen wie Scheinwerfer, Leuchtröhren etc.). Die Intensität der aktiven Beleuchtung kann hierbei unter der Intensität des Störlichts liegen. In diesen Fällen wird das Detektorsignal vom Störlicht dominiert und das gewünschte Nutzsignal aus der aktiven Beleuchtung nimmt nur einen geringen Bruchteil des Gesamtsignals ein.

30

Insbesondere differenzsignalauswertende Verfahren, bei denen Photodetektoren für Entfernungsmessungen nach dem Phasenkorrelationsverfahren eingesetzt werden, sind durch die Gleichanteile der in die Differenzbildung eingehenden Signale in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt. Beispiele aus der Fahrzeugtechnik hierfür sind 3D-Entfernungsbildkameras mit Photo-

35

mischdetektoren (auch Photonic Mixer Devices, kurz PMD genannt).

5 Diese Problemstellung kann zwar im Allgemeinen durch Verwendung von Photodetektoren mit extrem großem Dynamikbereich etwas entschärft werden, doch bleibt bei solchen Detektoren die Frage nach einem hinreichend guten Signal/Rauschverhältnis dennoch bestehen. Auch bei Sensoren mit großem Dynamikbereich sind die durch die Gleichanteile hervorgerufenen Einschränkungen des Dynamikbereichs bei differenzsignalauswertenden
10 Verfahren erheblich.

Derzeit sind in der Literatur verschiedene Konzepte für hochdynamische Photodetektoren beschrieben: Die dort beschriebenen Konzepte verwenden Bauelemente mit logarithmischer Kennlinie für die Signalkompression (Höfflinger et al.: „IMS-Chips“, Institut für Mikroelektronische Systeme, Stuttgart) oder steuern die Integrationszeit angepasst an die am
15 Detektor auftretende Beleuchtungsintensität (M. Böhm et al., „High Dynamic Range Image Sensors in Thin Film on ASIC Technology for Automotive Applications“, Advanced Microsystems for Automotive Applications, Springer-Verlag, Berlin, pp. 157-172, 1998). Detailliertere Informationen sind unter den Internet-Adressen von IMS-Chips (www.ims-chips.de)
20 und Silicon Vision zu finden (www.siliconvision.de).
5

Eine Trennung von Photosignalen, die durch ein Zusammenwirken von aktiver Beleuchtung und Störlicht entstanden sind, kann mit Anordnungen und Verfahren gemäß dem Stand der Technik nur
30 über zeitlich aufeinanderfolgende Messungen erreicht werden.

Dabei wird in einer ersten Messung das Photosignal durch die Summenwirkung von Störlicht und aktiver Beleuchtung ermittelt. In einer nachfolgenden zweiten Messung wird das Photosignal des Störlichts bei abgeschalteter aktiver Beleuchtung
35 ermittelt. Die Reihenfolge der Messungen kann auch vertauscht

werden. Das Nutzsignal kann anschließend durch Subtraktion des Störlichtsignals vom Gesamtsignal bestimmt werden.

5 Ausgehend davon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Photodetektor-Anordnung zur Störlichtkompensation sowie ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Photodetektor-Anordnung anzugeben, mittels denen eine besonders hohe Unterdrückung bzw. Kompensation des durch Störlicht hervorgerufenen Photosignalanteils ermöglicht ist.

10

Die erstgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Photodetektor-Anordnung zur Störlichtkompensation mit einer Photodetektoreinheit zur Erfassung und Bestimmung von mindestens zwei Messsignalen und mit einer Differenzeinheit zur Differenzbildung der Messsignale, wobei zwischen der Photodetektoreinheit und der Differenzeinheit eine Kompensationseinheit zur Kompensation von das jeweilige Messsignal zugrundeliegenden Gleichanteilen vorgesehen ist.

15

20 Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass zur Steigerung der Leistungsfähigkeit einer Photodetektor-Anordnung ein möglichst großer Teil des Dynamikbereich eines zugehörigen Photodetektoreinheit für die Erfassung und Bestimmung des differenzbildenden Anteils der Mess- oder Nutzsignale verwendbar ist. Daher sollten die Mess- oder Nutzsignale um
5 diejenigen Signalanteile reduziert werden, welche nicht durch Störsignale verursacht sind. Für eine größtmögliche Kompensation von Störanteilen im Messsignale sollte bei einem anhand von mehreren Messsignalen ausgeführten differenzauswertenden
30 Verfahren sollten die Messsignale differenziert erfasst und bestimmt werden. Insbesondere sollte für jedes einzelne Messsignal eine Möglichkeit gefunden werden, mit denen die insbesondere durch Gleichanteile gebildeten Störanteile der aufgenommenen Messsignale unterdrückt bzw. minimiert werden können.
35 Hierzu ist unmittelbar nach der Photodetektoreinheit eine Kompensationseinheit vorgesehen zur Unterdrückung bzw. Kompensation des vom Störlicht hervorgerufenen Gleichanteils

im jeweiligen Mess- oder Nutzsignal. Hierdurch ist sichergestellt, dass eine Unterdrückung bzw. Kompensation der durch das Messprinzip bedingten Gleichanteile des Mess- oder Photosignals innerhalb nur einer Messung direkt im photosensitiven Bauelement erfolgt.

Für eine signalbezogene Kompensation der die Störsignale repräsentierenden Gleichanteile umfasst die Kompensationseinheit eine der Anzahl der Messsignale entsprechende Anzahl von Differenzmodulen. Durch eine derartige signal- und zudem gleichanteilabhängige Verarbeitung der dem differenzsignal- auswertenden Verfahren zugrundeliegenden mehreren Mess- oder Photodetektorsignale unmittelbar nach der Erfassung sind Mehrfachmessungen sicher vermieden.

Zweckmäßigerweise umfasst die Kompensationseinheit eine Verstärkereinheit. Hierdurch ist in besonders einfacher Art und Weise eine Extrahierung des zur Differenzbildung nutzbaren Signalanteils vom Störsignal und vor allem die Erweiterung des Dynamikbereichs der Photodetektoreinheit bei der Detektion der Messsignale mit hohem Stör- bzw. Hintergrundpegel und geringem Nutzsignalanteil ermöglicht. Je nach Art und Aufbau der Verstärkereinheit kann ein statischer oder variabler Verstärkungsfaktor k eingestellt oder vorgegeben werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine für alle Messsignale gemeinsame Verstärkereinheit vorgesehen. Alternativ oder zusätzlich können mehrere Verstärkereinheit vorgesehen sein. Beispielsweise ist eine der Anzahl der erfassten Messsignale entsprechende Anzahl von Verstärkereinheiten vorgesehen.

Um auch im Falle von unbekannten, sich verändernden Mess- oder Nutzsignalen eine Gleichanteilkompensation zu ermöglichen, umfasst die Kompensationseinheit zweckmäßigerweise ein Grenzwertmodul, insbesondere zur Detektion des Minimal- oder Maximalwerts der anliegenden Mess- oder Nutzsignale. Je nach Art und Einstellung des Grenzwertmoduls kann der Kompensationsgrad der Kompensationseinheit entsprechend eingestellt

werden.

Insbesondere ist die Photodetektoreinheit als Photomischdetektor (auch Photonic Mixer Devices, kurz PMD genannt) ausgebildet. Die die Photodetektoreinheit, die Kompensationseinheit und die Differenzeinheit umfassende Photodetektor-Anordnung lässt sich in einer besonders einfachen und einen geringen Bauraum aufweisenden Ausführungsform als eine integrierte Schaltung, insbesondere mit integrierten Bauelementen umsetzen. Bevorzugt ist die Photodetektoreinheit als ein aktiver Pixelsensor (auch „Active Pixel Sensors“, kurz APS genannt) ausgebildet, dessen Dynamikbereich beispielsweise weitestgehend für die Detektion des „differenzbildenden Anteils“ einer aktiven Szenenbeleuchtung genutzt werden kann.

15

Die zweitgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, bei einem Verfahren zur Störlichtkompensation von mittels einer Photodetektoreinheit erfassten Messsignalen, wobei vor einer Differenzbildung der Messsignale ein dem jeweiligen Messsignal zugrundeliegender Gleichanteil kompensiert wird.

20

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Bestandteil der Unteransprüche. Das Verfahren kann mit Hilfe von integrierten elektronischen Bauelementen unmittelbar in einer Photodetektor-Anordnung umgesetzt werden, so dass Photodetektoren mit der beschriebenen Eigenschaft als Active Pixel Sensors (APS) ausgebildet werden können und sich in einfacher Weise z. B. in CMOS-Technologie realisieren lassen. Wesentlich ist auch, dass das Verfahren nicht auf Photodetektoren beschränkt ist, sondern prinzipiell auf alle Signale angewandt werden kann, die aus Stör- und Nutzsignal zusammengesetzt sind.

30

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die in der Photodetektor-Anordnung unmittelbar integrierte Kompensation der Störsignalanteile vor der Differenzbildung der zwei um die Störsignalanteile kom-

35

pensierten Ausgangssignale die Übertragungskennlinie lineari-
siert und der Einfluss weitgehend gleichsinnig wirkender Stö-
rungen reduziert wird. Mit anderen Worten: Durch eine unmit-

5 licht, der erfassten und zur Differenzbildung vorgesehenen
Photodetektorsignale ist die nachfolgende Differenzbildung
weitgehend unbeeinflusst. Hierdurch werden die unmittelbar
erfassten Photodetektorsignale in einen zu kompensierenden
störenden Lichtanteil und in einen zur Differenzbildung nutz-
10 baren Lichtanteil geteilt oder getrennt. Dies führt zu einer
Erhöhung des nutzbaren Dynamikbereichs der Photodetektor-
Anordnung. Durch die unmittelbare Verarbeitung der Messsig-
nale unter Berücksichtigung der Kompensation von störbedingen
Gleichanteilen ist eine derartige Photodetektor-Anordnung für
15 eine echtzeitfähige Signalaufnahme und somit für eine beson-
ders schnelle, analoge Signalverarbeitung geeignet, bei-
spielsweise weist eine derartige Photodetektor-Anordnung eine
so genannte hohe Frame-Rate und kurze Messzeiten in bildauf-
nehmenden Systemen auf.

20

Darüber hinaus eignet sich die Photodetektor-Anordnung für
Einzeldetektoren sowie für Zeilen- und Arrayanordnungen,
z. B. für Photomischdetektoren (Kurz PMD's genannt). Ferner
kann eine aufwendige A/D-Wandlung mit nachfolgender Werte-
5 Speicherung und Subtraktion vermieden werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfin-
dungsgedankens sind der weiteren Beschreibung unter Bezugnah-
me auf die Zeichnung entnehmbar.

30

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand
einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

35

Figur 1 eine verallgemeinerte, schematische Darstellung ei-
ner Photodetektor-Anordnung für ein differenzsigna-
lbildendes Verfahren mit integrierter Kompensati-
onseinheit;

Figur 2 eine allgemeine schematische Darstellung einer Photodetektor-Anordnung mit einer integrierten Verstärkereinheit;

5

Figur 3 hierfür eine allgemeine schematische Darstellung der Gleichanteilkompensationsschaltung zur Gewährleistung des maximalen Kompensationsgrades;

10

Figur 4 eine schematische Darstellung der Photodetektoranordnung zur Gleichanteilkompensation, der sich durch einen geringen Realisierungsaufwand auszeichnet;

15

Figur 5 das Zeitschema zur Ansteuerung der Photodetektor-Anordnung zur Gleichanteilkompensation, der sich durch einen geringen Realisierungsaufwand auszeichnet;

20

Figur 6 eine Photodetektor-Anordnung, mit der sich der maximale Gleichanteil-Kompensationsgrad $G_{\text{Komp}} = 100 \%$ erreichen lässt;

5

Figur 7 das Zeitschema zur Ansteuerung der Photodetektor-Anordnung zur Gleichanteilkompensation mit Gewährleistung des maximalen Kompensationsgrades.

30

Gleiche beziehungsweise funktionsgleiche Elemente sind in allen Figuren - sofern nichts anderes angegeben ist - mit gleichen Bezugszeichen versehen worden.

35

Bevor genauer auf die oben genannten Photodetektor-Anordnungen eingegangen wird, erfolgt eine einleitende Erläuterung der grundlegenden Voraussetzungen und Eigenschaften des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Photodetektor-Anordnung.

Die in den folgenden Ausführungen dargestellten Verfahren zur Gleichanteilkompensation dienen der Verbesserung von Anwendungen, bei denen die Differenz von mindestens zwei in ihrer Größe begrenzten, Gleichanteil behafteten Größen gebildet wird. Die in die Differenzbildung eingehenden Messsignale werden zu diesem Zweck reduziert, ohne dass die Differenz davon beeinflusst wird. Zur Vereinfachung wird hier und im Folgenden der Fall von zwei Signalen angenommen, wobei das Verfahren darauf nicht beschränkt ist.

In Figur 1 ist eine verallgemeinerte, schematische Darstellung eine Photodetektor-Anordnung 1 zur Störlichtkompensation dargestellt. Die Photodetektor-Anordnung 1 umfasst eine Photodetektoreinheit 2 zur Erfassung und Bestimmung von zwei Messsignalen S_1 und S_2 aus einem optischen Signal O . Zur Bestimmung eines dem jeweiligen Messsignals S_1 bzw. S_2 zugrundeliegenden Nutzsignalanteils $S_{1\Delta}$ bzw. $S_{2\Delta}$ ist der Photodetektoreinheit 2 eine Kompensationseinheit 4 nachgeschaltet. Mittels eines Verstärkungsfaktors k ist ein der Kompensationseinheit 4 zugrundeliegender Kompensationsgrad für die Kompensation von dem jeweiligen Messsignal S_1 bzw. S_2 zugrundeliegenden Störanteilen, insbesondere Gleichanteilen S_{GL} einstellbar. Zur Bestimmung des Differenzsignals ΔS anhand der jeweiligen Nutzsignalanteile $S_{1\Delta}$ bzw. $S_{2\Delta}$ werden die um die störbehafteten Gleichanteile S_{GL} reduzierten Messsignale S_1 und S_2 einer Differenzeinheit 6 zugeführt.

Voraussetzendes Funktionsmerkmal des vorliegenden Kompensationsverfahrens ist hierbei die Differenzbildung zweier mit einem beispielsweise identischen Gleichanteil S_{GL} und einem zugehörigen Nutzsignalanteil $S_{1\Delta}$ bzw. $S_{2\Delta}$ behafteter Signale S_1 und S_2 . Dabei gilt:

$$S_1 = S_{1\Delta} + S_{GL} \text{ und } S_2 = S_{2\Delta} + S_{GL} \text{ mit } S_{GL} = k \cdot S_x \quad (1)$$

sowie

$$0 \leq k \leq 1 \quad (2)$$

Die Nutzsignalanteile $S_{1\Delta}$ und $S_{2\Delta}$ beschreiben dabei die ausschließlich zur Differenzbildung beitragenden Anteile des Nutzsignals. Der Verstärkungsfaktor k kann hierbei optional

5 fest oder einstellbar sein. In der Regel gilt: Je nach Realisierungsform der Kompensationsschaltung kann es sich bei dem Signal S_x um S_1 oder S_2 , bzw. um das kleinere oder größere beider Signale S_{\min} oder S_{\max} handeln.

10 Der Gleichanteil S_{GL} kann hierbei wie folgt gebildet sein:

- I. unbekannt, ausschließlich durch Störgrößen hervorgerufen;
- II. verfahrens- und technologiebedingt in fester
15 (= konstanter) Relation zu den Messsignalen S_1 und S_2 ;
- III. unbekannt, als Summe aus Anteilen aus I. und II.

Die Größe, insbesondere der Wert der direkt in die Differenzbildung eingehenden Nutzsignalanteile $S_{1\Delta}$ und $S_{2\Delta}$ wird durch
20 einen systemspezifischen Dynamikbereich vorgegeben. Der Dynamikbereich wird dabei durch die Auslegung von Speicherkapazitäten und/oder Schaltungsauslegungen zur Signalverstärkung bzw. -verarbeitung begrenzt. Zur Leistungssteigerung des differenzsignalbildenden Verfahrens durch Erhöhung des nutzbaren
5 Anteils dieses Dynamikbereichs werden mittels der Kompensationseinheit 4 die Eingangs- oder Messsignale S_1 und S_2 direkt vor der Differenzbildung um den einem der beiden Messsignale S_1 und S_2 Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ reduziert.

30

Je nach Vorgabe des Proportionalitätsfaktors $k \cdot S_x$, der in Abhängigkeit vom Gleichanteil S_{GL} der Messsignale S_1 bzw. S_2 gebildet wird und der je nach Ausführung der Kompensationseinheit 4 verschieden sein kann, wird der Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ bevorzugt jedoch wie folgt eingestellt:
35

$$S_{GL} \leq k \cdot S_x$$

(3)

Nachfolgend sind beispielhaft in den Figuren 2 und 3 zwei detailliertere Ausführungsformen für die Photodetektor-Anordnung 1 beschrieben, die sich hinsichtlich ihres Kompensationsgrades sowie ihrer Komplexität unterscheiden.

Vorerst wird hierbei zur Vereinfachung weiterhin die allgemeingültige Form der Photodetektor-Anordnung 1 nach Figur 1 beibehalten und näher die Ausführung der Kompensationseinheit 4 beschrieben.

Für den Fall, dass der Gleichanteil S_{GL} mindestens einen Anteil besitzt, der in fester Relation zu den Messsignalen S_1 und S_2 steht (siehe oben unter Punkt II. bzw. III.), stellt die in Figur 2 schematisch dargestellte Photodetektor-Anordnung 1 eine sehr einfach zu realisierende Möglichkeit zur Gleichanteilkompensation dar. Der feste bzw. optional einstellbare Verstärkungsfaktor k gibt den minimalen relativen Gleichanteil S_{GL} der Messsignale S_1 und S_2 an. Hierbei kann der signalreduzierende Term oder Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ beliebig als Funktion einer der Messsignale S_1 bzw. S_2 ausgelegt sein. In Figur 2 ist beispielhaft der Bezug zum Messsignal S_1 dargestellt. Zur Bildung einer anhand des Proportionalitätsfaktors $k \cdot S_x$ ausgeführten Gleichanteilkompensation G_{komp} des jeweils erfassten Messsignals S_1 bzw. S_2 umfasst die Kompensationseinheit 4 eine Verstärkereinheit 8 und zwei Differenzmodule 10.

Im Allgemeinen handelt es sich bei den Messsignalen S_1 und S_2 um unbekannte, sich verändernde Signale. Der Grad der durch den reduzierenden Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ gebildeten Gleichanteilkompensation G_{komp} ist mittels der Verstärkereinheit 8 variabel einstellbar. Beispielsweise ist der Grad der Gleichanteilkompensation G_{komp} begrenzt durch einen Maximalwert gemäß $S_1 > S_2$ und einen Minimalwert gemäß $S_1 < S_2$ oder umgekehrt. Im Allgemeinen gilt:

$$G_{Komp} = \frac{k \cdot S_x}{S_{Min}} \quad \text{mit} \quad S_{Min} = MIN(S_1, S_2) \quad (4)$$

Je nach Art und Ausführung der Photodetektor-Anordnung 1 kann eine für alle Messsignale S_1 und S_2 gemeinsame Verstärkereinheit 8 vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich können
 5 mehrere Verstärkereinheiten 8, z. B. je Messsignal S_1 bzw. S_2 eine zugehörige Verstärkereinheit 8 zur signalbezogenen Gleichanteilkompensation G_{Komp} vorgesehen sein.

Zur Gewährleistung eines maximalen Kompensationsgrades
 10 $G_{Komp Max}$ ist, wie in Figur 3 dargestellt, eine zusätzliche Schaltungskomponente, insbesondere ein Grenzwertmodul 12 zur Detektion eines Maximalwertes MAX bzw. eines Minimalwertes MIN aller am Grenzwertmodul 12 anliegenden Eingangs- oder Messsignale S_1 und S_2 vorgesehen.

15

Die maximale Gleichanteilkompensation $G_{Komp Max}$ wird wie folgt vorgegeben:

$$k \cdot S_x = S_{Min} = k \cdot S_{Max} \quad (5)$$

20 Der Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ wird hierbei entweder direkt anhand des Minimalwerts MIN (= S_{Min} , bei $k = 1$) oder indirekt über einem proportionalen Zusammenhang zum Maximalwert MAX (= S_{Max}) bestimmt.

25 Besonders vorteilhaft ist die Anwendung der beschriebenen Gleichanteilkompensation in einer Photodetektor-Anordnung 1 eines speziellen Zweikanal-System mit als so genannte Photomischdetektoren 14 (auch Photonic Mixer Devices, kurz „PMD“ genannt) ausgebildeten Photodetektoreinheiten 2, wie in Fi-
 30 gur 4 gezeigt. Photomischdetektoren 14 werden als Bauelemente zur Mischung von elektrischen Signalen E und optischen Signalen O eingesetzt. Sie bestehen aus mindestens zwei paarweise angeordneten Photodetektoreinheiten 2, auf die sich Ladungsträger, die von einer aktiven Szenenbeleuchtung im Halbleiter

generiert werden, bei der Mischung mit einem elektrischen Signal E nach einem bestimmten Schema verteilen. Der jeweiligen Photodetektoreinheit 14 ist dabei ein Photoelement 16 zur Erfassung des optischen Signals O zugeordnet.

5

Beispielsweise werden Photomischdetektoren 14 eingesetzt, um 3D-Bildinformationen zu erzeugen. Hierbei werden ausschließlich die Differenzen der in den paarweise angeordneten Photodetektoreinheiten 2 erfassten und bestimmten Messsignale S_1 ($= I_{Ph_A}$) und S_2 ($= I_{Ph_B}$) ausgewertet.

10

Der wesentliche Aspekt, der für eine Anwendung spricht, ist die Tatsache, dass die generierten Messsignale S_1 und S_2 neben den potentiellen, unbekannten Gleichanteilen S_{GL} , die beispielsweise durch Störlicht hervorgerufen werden, immer einen bekannten prinzipbedingten und somit mess- oder bestimm-
baren Gleichanteil S_{mGL} enthalten. Dieser bestimmbare Gleichanteil S_{mGL} wird beispielsweise anhand eines mittleren maximalen Modulationskontrast MK_{Max} vorgegeben gemäß:

20

$$\overline{MK}_{Max} = \frac{|(\Delta S)_{Max}|}{\sum S |(\Delta S)_{Max}|} \quad (6)$$

25

Dabei wird der mittlere maximale Modulationskontrast MK_{Max} beispielsweise durch die Variation von herstellungs- und lay-
outspezifischen Parametern, wie beispielsweise Halbleitermaterial und Bauteilgeometrien, bestimmt und kann daher nach der Fertigung experimentell bestimmt und als konstant betrachtet werden. Der Zusammenhang zwischen dem mittleren maximalen Modulationskontrast MK_{Max} und dem minimalen, relativen Gleichanteil S_{GL} der Signale S_1 und S_2 wird wie folgt vorgegeben:

30

$$\frac{S_{GLMin}}{MAX(S_1, S_2)} = \frac{1 - \overline{MK}_{Max}}{1 + \overline{MK}_{Max}} \quad (7)$$

Hierdurch lässt sich der Zusammenhang zum Verstärkungsfaktor k des Proportionalitätsfaktor $k \cdot S_x$ gemäß der Photodetektor-Anordnung 1 in Figur 2 wie folgt einstellen:

$$k_{Max} = \frac{1 - \overline{MK}_{Max}}{1 + \overline{MK}_{Max}} \quad (8)$$

Die in Figur 4 dargestellte Photodetektor-Anordnung 1 mit Photomischdetektoren 14, Kompensationseinheit 4 und Differenzeinheit 6 ist in einer besonders einfachen Ausführungsform als integrierte Schaltung beispielsweise aus Halbleiterelementen herstellbar, wobei alle Elemente unmittelbar am Photoelement 16 und am Photomischdetektor 14 auf dem Halbleiter angeordnet sein können. Eine derartige Photodetektor-Anordnung 1 stellt somit eine Ausführungsform für einen aktiven Pixelsensor 1a (auch Active Pixel Sensors, kurz APS genannt) dar.

Im Betrieb der Photodetektor-Anordnung 1 wird mittels einer Signalquelle V_{Mod} das elektrische Signal E erzeugt, das im Photomischdetektor 14 mit dem jeweils von den beiden Photodetektoreinheiten 2 aufgenommenen optischen Signal O gemischt wird. Das Ergebnis der Mischung wird in Form der zwei Messsignale S_1 und S_2 als so genannte Photoströme $I_{Ph A}$ bzw. $I_{Ph B}$ über zugehörige Signalpfade A bzw. B zeitgleich bereitgestellt.

Grundsätzlich sind sämtliche Signalformen für die Umwandlung des optischen Signals O mit dem elektrischen Signal E in das elektrische Messsignal S_1 bzw. S_2 geeignet (z. B. Rechteck-, Sinus-, Dreieck-, Pseudo-Noise-, Pulsgruppenform etc.). Bevorzugt werden bei dem hier beschriebenen Verfahren bedingt durch die integrierte Ausführung zeitlichen Mittelwerte der jeweiligen Signalform gebildet.

Zur Initialisierung der Photodetektor-Anordnung 1 wird diese mittels einer dem jeweiligen Messsignal S_1 bzw. S_2 zugehöri-

gen Reset-Schaltung 18 anhand eines Reset-Impulses in einen definierten Start- oder Ausgangszustand gesetzt. Der jeweiligen Reset-Schaltung 18 ist eine Integrationskapazität $C_{\text{Sig } 1}$ und $C_{\text{Sig } 2}$ zugeordnet. Bei der Initialisierung werden die Integrationskapazitäten $C_{\text{Sig } 1}$ und $C_{\text{Sig } 2}$ mittels der jeweils zugeordneten Reset-Schaltung 18 auf einen definierten Spannungspegel geladen, zum anderen erfolgt die Initialisierung der beiden Photoelemente 16 über die im Photomischdetektor 14 angeordneten Photodetektoreinheiten 2.

Die Funktionsweise der Photodetektor-Anordnung 1 gemäß Figur 4 wird durch das in Figur 5 dargestellte Zeitschema ergänzt und nachfolgend näher erläutert. Figur 5 zeigt das Zeitschema zur Ansteuerung der Photodetektor-Anordnung 1 zur Gleichanteilkompensation. Zur Verdeutlichung der Wirkungsweise enthält dieses sowohl die Darstellungen der Ausgangssignalverläufe ohne als auch mit Gleichanteilkompensationsschaltung.

Zum Zeitpunkt $T_{\text{SS}1}$ wird gleichzeitig mit dem Schließen des Schalters SS_1 eine aktive Szenenbeleuchtung ΔE_{MOD} eingeschaltet. Die daraus resultierenden elektrischen Signale E und die optischen Signale O werden mittels der zwei paarweise angeordneten Photodetektoreinheiten 2 des Photomischdetektors 14 in die die Messsignale S_1 und S_2 repräsentierenden Photoströme $I_{\text{Ph } A}$ und $I_{\text{Ph } B}$ auf den Signalpfaden A und B umgewandelt. Der Gesamtphotostrom oder das jeweilige Messsignal S_1 bzw. S_2 setzt sich dabei zusammen aus der den Nutzsignalanteil $S_{1/2A}$ bildenden aktiven Szenenbeleuchtung ΔE_{MOD} und einem den störbehafteten Gleichanteil S_{GL} bildenden Störlicht E_{DC} der Szene.

Die Signalintegration an den Integrationskapazitäten $C_{\text{Sig } 1}$ und $C_{\text{Sig } 2}$ erfolgt ohne Kompensationsschaltung gemäß den Signalverläufen $V'_{\text{C Sig } 1}$ und $V'_{\text{C Sig } 2}$ und mit Kompensationsschaltung gemäß den Signalverläufen $V_{\text{C Sig } 1}$ und $V_{\text{C Sig } 2}$ bis zum Zeitpunkt $T_{\text{SS}2}$, bis zu dem der Schalter SS_1 geöffnet und Schalter SS_2 geschlossen wird. Hierbei sei vorausgesetzt,

dass sich die Integrationskapazitäten $C_{sig\ 1}$ und $C_{sig\ 2}$ zu keinem Zeitpunkt im Bereich der Sättigung befinden und somit von einer annähernd linearen Integration ausgegangen werden kann. Bis zum erneuten Reset-Impuls werden die Signalverläufe

- 5 $V'_{c\ sig\ 1}$ und $V'_{c\ sig\ 2}$ ohne Kompensation bzw. $V_{c\ sig\ 1}$ und $V_{c\ sig\ 2}$ mit Kompensation entsprechend an den Integrationskapazitäten $C_{sig\ 1}$ und $C_{sig\ 2}$ gehalten.

- 10 Dabei liegt am Schalter SS_2 das über die entsprechende Verstärkereinheit 8 und dem Subtrahierer oder Differenzmodul 10 gebildete kompensierte Messsignal S_1 bzw. S_2 als Differenzsignal ΔC_{sig} an einer der beiden Ausleseleitungen 20 an.

- 15 Der Vergleich der Messsignale S'_1 und S'_2 der Signalverläufe $V'_{c\ sig\ 1}$ und $V'_{c\ sig\ 2}$ (ohne Kompensationsschaltung) mit den Messsignalen S_1 und S_2 der Signalverläufe $V_{c\ sig\ 1}$ und $V_{c\ sig\ 2}$ (mit Kompensationsschaltung) zeigt, dass die Gleichanteils-kompensation G_{komp} die Spannungspegel an den Integrationskapazitäten $C_{sig\ 1}$ und $C_{sig\ 2}$, die zur Differenzbildung verwertet
20 werden, reduziert werden, ohne dass das Differenzsignal $\Delta V_{c\ sig}$ ($= \Delta V'_{c\ sig}$) davon beeinflusst wird. Die Reduzierung der Spannungspegel eröffnet die Möglichkeit, zusätzliche optisch generierte Ladungsträger auf die Kapazitäten $C_{sig\ 1}$ und $C_{sig\ 2}$ integrieren zu können. Hierdurch wird ein zusätzlich nutzbarer Teil des vorhandenen Dynamikbereichs geschaffen, was ei-
5 ner Erhöhung des Dynamikbereichs gleichkommt. Der Absolutwert dieser Erhöhung ist bestimmt durch die Potentialdifferenz ΔV_{profit} und ergibt sich gemäß Figur 5 aus der Differenz der Signale $V'_{c\ sig\ Max}$ und $V_{c\ sig\ Max}$.

30

$$\Delta V_{profit} = V'_{C_Sig_Max} - V_{C_Sig_Max} \quad (9)$$

- Die Schlüsselfunktion der Kompensationsschaltung ist die Reduzierung des Gleichanteils S_{GL} der die Messsignale S_1 und S_2 repräsentierenden Photoströme $I_{Ph\ A}$ und $I_{Ph\ B}$ bevor diese auf
35 die Kapazitäten $C_{sig\ 1}$ und $C_{sig\ 2}$ integriert werden.

Die gemäß Figur 4 ausgeführte Photodetektor-Anordnung 1 umfasst hierzu die als ein so genannter Stromspiegel ausgebildete Verstärkereinheit 8 realisiert. Auf Basis des Photo-

stroms $I_{Ph A}$ (für $I_{Ph B}$ gilt Analoges) erzeugt eine so genannte

5 Stromspiegelschaltung der Verstärkereinheit 8 durch Aufprägen des Verstärkungsfaktors k entsprechend kompensierte Ströme $k I_{Ph A}$ bzw. $I_{Ph A}$. Mit diesen lassen sich durch die Zusammen-

führung von entsprechenden Ausgangsleitungen 22 Differenzsignale $\Delta I_{Ph} = I_{Ph A} - k I_{Ph A}$ bzw. $\Delta I_{Ph} = I_{Ph B} - k I_{Ph A}$ auf sehr

10 einfache Weise bilden. Der Verstärkungsfaktor k lässt sich beispielsweise über das Weiten-/Längen-Verhältnis (W/L) der CMOS-Transistoren der eingesetzten Stromspiegel oder über

entsprechende Bias-Ströme einstellen. Der Vorteil dieser Schaltungsanordnung und des daraus resultierenden Verfahrens

15 ist bedingt durch die Einfachheit der geringe Realisierungsaufwand, weiteres Verbesserungspotential liegt hingegen im schon weiter oben erwähnten nicht konstanten Kompensations-

grad.

20 Figur 6 zeigt eine alternative Ausführungsform für eine Photodetektor-Anordnung 1, mit der sich, unabhängig vom Vorzeichen des Differenzsignals $\Delta I_{Ph} = I_{Ph A} - I_{Ph B}$, ein maximaler Kompensationsgrad G_{Komp} von 100 % für den Gleichanteil S_{GL} erreichen lässt.

5 Im Vergleich zu der in Figur 4 gezeigten Photodetektor-Anordnung 1 ist hier das Grenzwertmodul 12 als Detektion des Minimalwerts MIN mit zwei gekoppelten Wechselschaltern SS1 integriert. Die Auslegung der Stromspiegelschaltung mittels der

30 Verstärkereinheit 8 ist hingegen vereinfacht ausgeführt.

Der kleinere der beiden Photoströme $I_{Ph A}$ und $I_{Ph B}$ stellt den bezüglich der Differenzbildung irrelevanten, maximalen Gleichanteil $S_{GL} = I_{Ph MIN}$ dar. Aus diesem Grund ist es notwendig, direkt nach der Reset-Phase, in der die Integrationskapazitäten $C_{Sig 1}$ sowie $C_{Sig 2}$ und die Photoelemente 16 initiali-

35 siert werden, den minimalen Photostrom $I_{Ph MIN}$ zu bestimmen.

Das in Figur 7 zugehörige Zeitschema für die Photodetektor-Anordnung 1 zur Gleichanteilskompensation G_{Komp} unter Berücksichtigung eines maximalen Kompensationsgrades $G_{\text{Komp MAX}}$ nach
5 Figur 6 zeigt beispielhaft die Signalverläufe $V'_{\text{C sig 1}}$ bzw. $V'_{\text{C sig 2}}$ sowie $V_{\text{C sig 1}}$ bzw. $V_{\text{C sig 2}}$ für den Fall $I_{\text{Ph A}} < I_{\text{Ph B}}$.

Zum Zeitpunkt T_{SS1} schaltet in diesem Fall mit Einschaltung der aktiven Szenenbeleuchtung ΔE_{MOD} der Schalter SS_1 in den
10 Zustand „1“ und SS_2 wird geschlossen. Der vom Grenzwertmodul 12 identifizierte Minimalwert MIN der anliegenden Photoströme $I_{\text{Ph A}}$ und $I_{\text{Ph B}}$, d. h. Strom $I_{\text{Ph MIN}}$ (z. B. Photostrom $I_{\text{Ph A}}$) erfährt durch die Stromspiegelanordnung der Verstärkereinheit 8 eine Vorzeichenumkehr und wird mit dem Strom
15 $I_{\text{Ph MAX}}$ (z. B. Photostrom $I_{\text{Ph B}}$) zur Differenzbildung mittels Ausgangsleitungen 22 zusammengeführt. Zur Erhaltung des korrekten Vorzeichens bei der nachgeschalteten Differenzbildung erfolgt die Integration über die Schalter SS_1 und SS_2 auf die Integrationskapazität $C_{\text{sig 2}}$. Das Potenzial an der Integrationskapazität $C_{\text{sig 1}}$ wird unverändert gehalten. Zum Zeitpunkt
20 T_{SS3} wird die Integration beendet und das Differenzsignal ΔC_{sig} bis zum erneuten Reset-Impuls über Schalter SS_3 auf die Ausleseleitung 20 geführt.

5 Der Vergleich der Signalverläufe $V'_{\text{C sig 1}}$ und $V'_{\text{C sig 2}}$ (ohne Kompensationsschaltung) mit den Signalverläufen $V_{\text{C sig 1}}$ und $V_{\text{C sig 2}}$ (mit Kompensationsschaltung) zeigt, in welchem Maße die Spannungspegel an den Kapazitäten $C_{\text{sig 1}}$ und $C_{\text{sig 2}}$ durch die Kompensationsanordnung oder Kompensationseinheit 4
30 reduziert werden, ohne dass dabei das Ausgangsdifferenzsignal beeinflusst wird. Die Potenzialdifferenz ΔV_{profit} stellt den Kompensationsanteil, also den zusätzlich nutzbaren Teil des Dynamikbereichs dar.

35 Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die in Figur 6 dargestellte Photodetektor-Anordnung 1 alternativ auch mit einem als Maximumdetektor ausgebildeten Grenzwertmodul 12 ausge-

stattet werden kann. In diesem Fall würde eine Stromspiegelanordnung gemäß der Verstärkereinheit 8 nach Figur 4 eingesetzt werden. Eine solche Anordnung würde im Vergleich zur in Figur 6 aufgeführten Verstärkereinheit 8 nicht den kompletten

5 Gleichanteil der Photoströme $I_{Ph A}$ und $I_{Ph B}$ kompensieren, im Vergleich zur Kompensationsschaltung der Figur 4 würde sich jedoch eine Performancesteigerung aufgrund des konstanten Kompensationsgrades ergeben.

10 Die hier beschriebenen verschiedenartigen und eine Gleichanteilskompensation bewirkenden Photodetektor-Anordnungen 1 weisen einen gegenüber herkömmlichen Anordnungen bedeutend höheren Dynamikbereich auf, der eine erhebliche Steigerung der Leistungsfähigkeit solcher Bauelemente in technischen An-

15 wendungen zur Folge hat.

Das Verfahren kann sowohl für eine einzelne Photodetektoreinheit 2 als auch für eine Zeilen- oder Arrayanordnung von Detektoren 2 eingesetzt werden.

20

Die vorgeschlagenen Photodetektor-Anordnungen 1 können in einer Zeilenanordnung als Bildaufnehmer in Zeilenkameras Anwendung finden. Weiterhin sind Zeilenanordnungen als optische Mehrkanalsysteme zur Trennung unterschiedlicher Modulations-

5 kanäle möglich. Die Ansteuerung und Signalauslese der einzelnen Pixel solcher Zeilenanordnungen erfolgt üblicherweise mit Multiplexerbausteinen.

Entsprechendes gilt für eine zweidimensionale Matrix-Anordnung, wie sie in Flächensensoren für Videokameras verwendet

30 wird. Multiplexerbausteine werden dabei zur Ansteuerung und Auslese der Detektorelemente jeweils für die Zeilen und die Spalten der Matrix-Anordnung eingesetzt.

35 Die vorliegende Erfindung wurde anhand der vorstehenden Beschreibung so dargestellt, um das Prinzip der Erfindung und dessen praktische Anwendung bestmöglichst zu erklären, jedoch

lässt sich die Erfindung bei geeigneter Abwandlung selbstverständlich in mannigfaltigen anderen Ausführungsformen realisieren.

Patentansprüche

1. Photodetektor-Anordnung (1) zur Störlichtkompensation mit einer Photodetektoreinheit (2) zur Erfassung und Bestimmung von mindestens zwei Messsignalen (S_1 , S_2) und mit einer Differenzeinheit (6) zur Differenzbildung der Messsignale (S_1 , S_2), wobei zwischen der Photodetektoreinheit (2) und der Differenzeinheit (6) eine Kompensationseinheit (4) zur Kompensation von das jeweilige Messsignal (S_1 , S_2) zugrundeliegenden Gleichanteilen (S_{GL} , S_{MGL}) vorgesehen ist.
2. Photodetektor-Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Kompensationseinheit (4) eine der Anzahl der Messsignale (S_1 , S_2) entsprechende Anzahl von Differenzmodulen (10) umfasst.
3. Photodetektor-Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kompensationseinheit (4) eine Verstärkereinheit (8) umfasst.
4. Photodetektor-Anordnung nach Anspruch 3, wobei eine für alle Messsignale (S_1 , S_2) gemeinsame Verstärkereinheit (8) vorgesehen ist.
5. Photodetektor-Anordnung nach Anspruch 3, wobei eine der Anzahl der erfassten Messsignale (S_1 , S_2) entsprechende Anzahl von Verstärkereinheiten (8) vorgesehen ist.
6. Photodetektor-Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Kompensationseinheit (4) ein Grenzwertmodul (12) umfasst.
7. Photodetektor-Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Photodetektoreinheit (2) als Photomischdetektor (14) ausgebildet ist.
8. Photodetektor-Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Photodetektoreinheit (2) als ein aktiver Pixelsensor ausgebildet ist.

9. Verfahren zur Störlichtkompensation von mittels einer Photodetektoreinheit (2) erfassten Messsignalen (S_1 , S_2), wobei vor einer Differenzbildung der Messsignale (S_1 , S_2) ein dem jeweiligen Messsignal (S_1 , S_2) zugrundeliegender Gleichanteil (S_{GL} , S_{MGL}) kompensiert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem für die Messsignale (S_1 , S_2) ein diese gemeinsam repräsentierender Gleichanteil (S_{GL} , S_{MGL}) bestimmt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, bei dem für den Gleichanteil (S_{GL} , S_{MGL}) zumindest ein konstanter Faktor bestimmt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem der Gleichanteil (S_{GL} , S_{MGL}) als eine Funktion eines der Messsignale (S_1 , S_2) bestimmt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem der Gleichanteil (S_{GL} , S_{MGL}) zumindest anhand eines mittleren maximalen Modulationskontrast bestimmt wird.

Zusammenfassung

Photodetektor-Anordnung und Verfahren zur Störlichtkompensation

5

Die Erfindung betrifft eine Photodetektor-Anordnung (1) zur Störlichtkompensation mit einer Photodetektoreinheit (2) zur Erfassung und Bestimmung von mindestens zwei Messsignalen (S_1 , S_2) und mit einer Differenzeinheit (6) zur Differenzbildung der Messsignale (S_1 , S_2), wobei zwischen der Photodetektoreinheit (2) und der Differenzeinheit (6) eine Kompensationseinheit (4) zur Kompensation von das jeweilige Messsignal (S_1 , S_2) zugrundeliegenden Gleichanteilen (S_{GL} , S_{MGL}) vorgesehen ist.

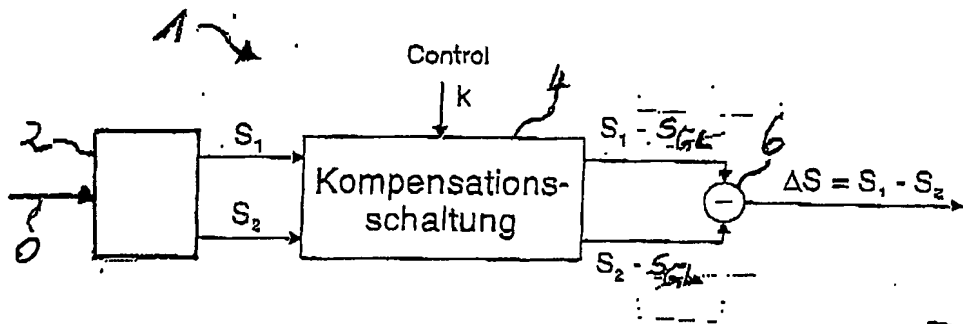
10
15

Figur 1

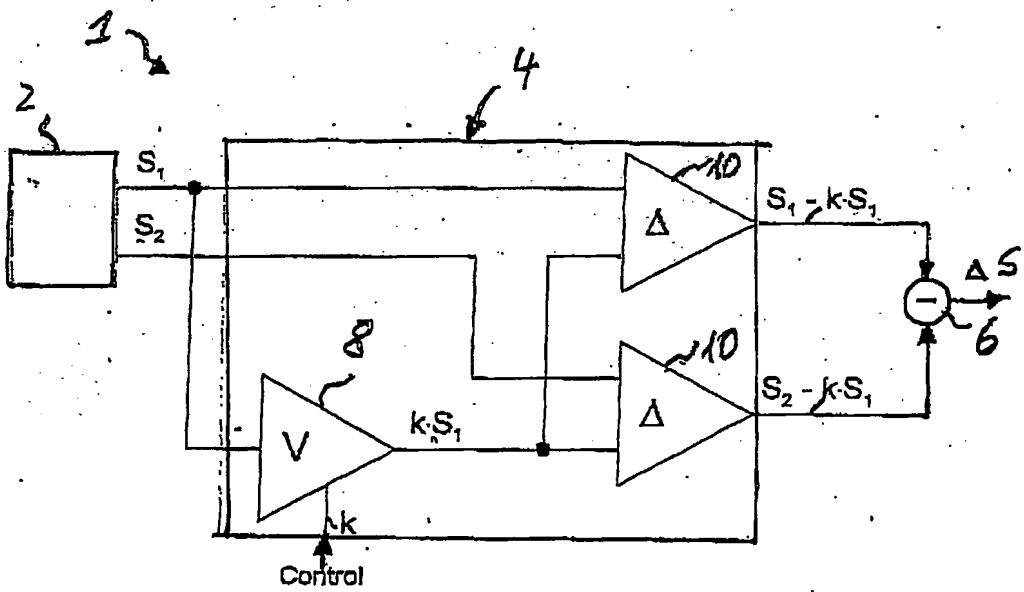
Bezugszeichenliste

	1	Photodetektor-Anordnung
	2	Photodetektoreinheit
5	4	Kompensationseinheit
	6	Differenzeinheit
	8	Verstärkereinheit
	10	Differenzmodule
	12	Grenzwertmodul
10	14	Photomischdetektoren
	16	Photoelement
	18	Reset-Schalter
	20	Ausleseleitung
	22	Ausgangsleitung
15		
	"1"	Zustand
	A, B	Signalpfade
	C _{sig 1} , C _{sig 2}	Integrationskapazität
	E	elektrische Signale
20	E _{DC}	Störlicht
	G _{Komp}	Gleichanteilskompensation
	G _{Komp Max}	maximalen Kompensationsgrades
	I _{Ph A} , I _{Ph B}	Photoströme
	I _{Ph MAX}	maximaler Photostrom
5	I _{Ph MIN}	minimaler Photostrom
	k	Verstärkungsfaktor
	k I _{Ph A} , I _{Ph A}	Ströme
	k · S _x	Proportionalitätsfaktor
	MAX	Maximalwert
30	MIN	Minimalwert
	MK _{Max}	Modulationskontrast
	O	optische Signale
	S ₁ , S ₂	Messsignale mit Kompensation
	S' ₁ , S' ₂	Messsignale ohne Kompensation
35	S _{1Δ} , S _{2Δ}	Nutzsignalanteile
	S ₁ > S ₂	Maximalwert
	S ₁ < S ₂	Minimalwert

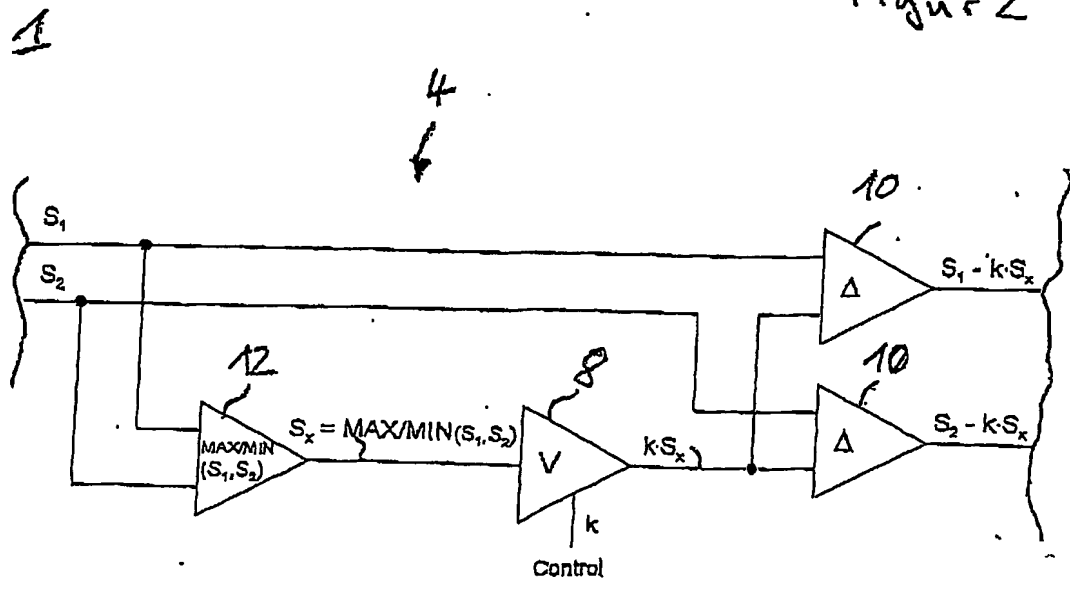
	S_{GL}	Gleichanteile
	S_{MGL}	messbare Gleichanteile
	S_{MIN}, S_{MAX}	Signale
	SS_1, SS_2	Schalter
5	S_x	Signal
	$T_{SS1}, T_{SS2}, T_{SS3}$	Zeitpunkte
	$V_c \text{ sig } 1, V_c \text{ sig } 2$	Signalverläufe mit Kompensation
	$V'_c \text{ sig } 1, V'_c \text{ sig } 2$	Signalverläufe ohne Kompensation
	$V_c \text{ sig Max} / V'_c \text{ sig Max}$	Signalverlauf für den Maximalwert mit/ohne Kompensation
10	V_{Mod}	Signalquelle
	W/L	Weiten-Längen-Verhältnis
	ΔC_{sig}	Differenzsignal
	ΔE_{MOD}	Szenenbeleuchtung
15	$\Delta I_{Ph} = I_{Ph A} - k I_{Ph A},$	
	$\Delta I_{Ph} = I_{Ph B} - k I_{Ph A}$	Differenzsignale
	ΔS	Differenzsignal
	ΔV_{profit}	Potentialdifferenz
	$\Delta V_c \text{ sig}, \Delta V'_c \text{ sig}$	Differenzsignale



Figur 1

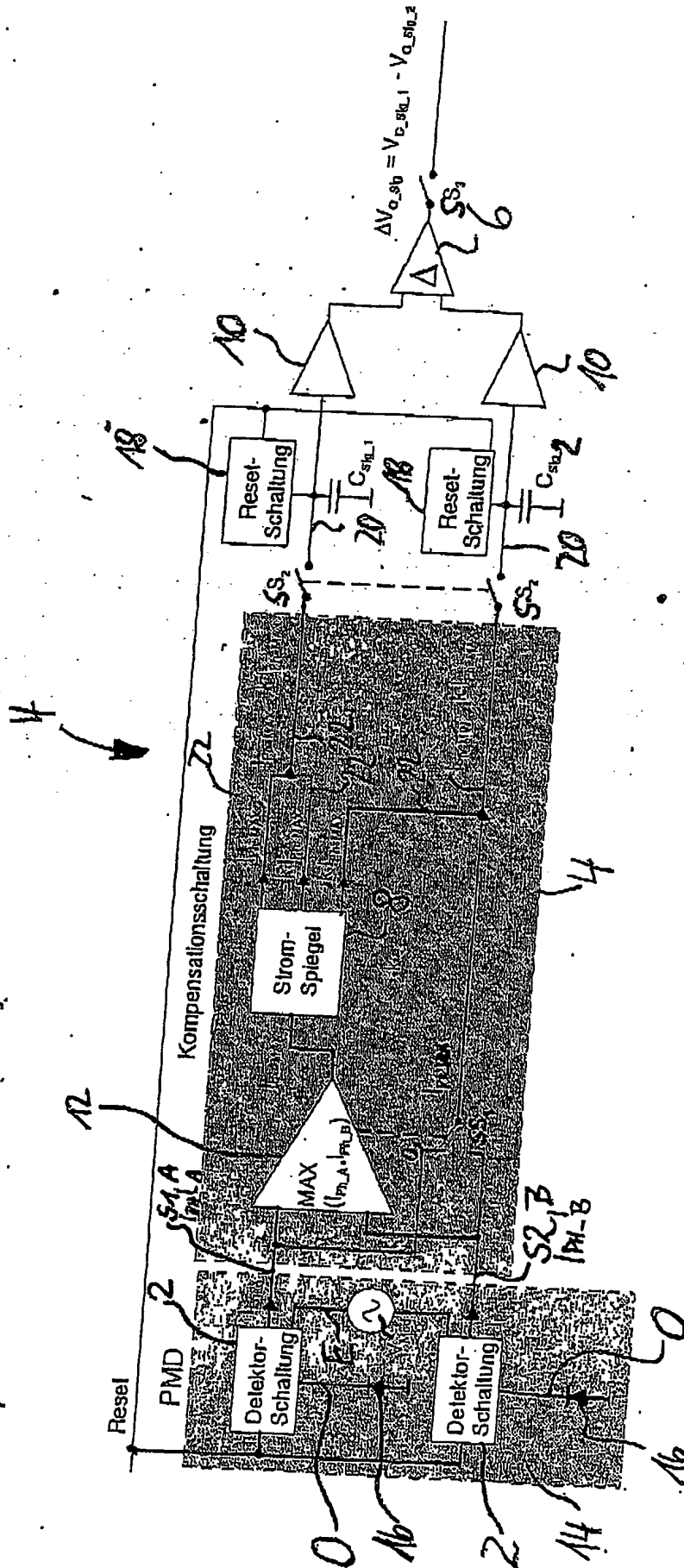


Figur 2

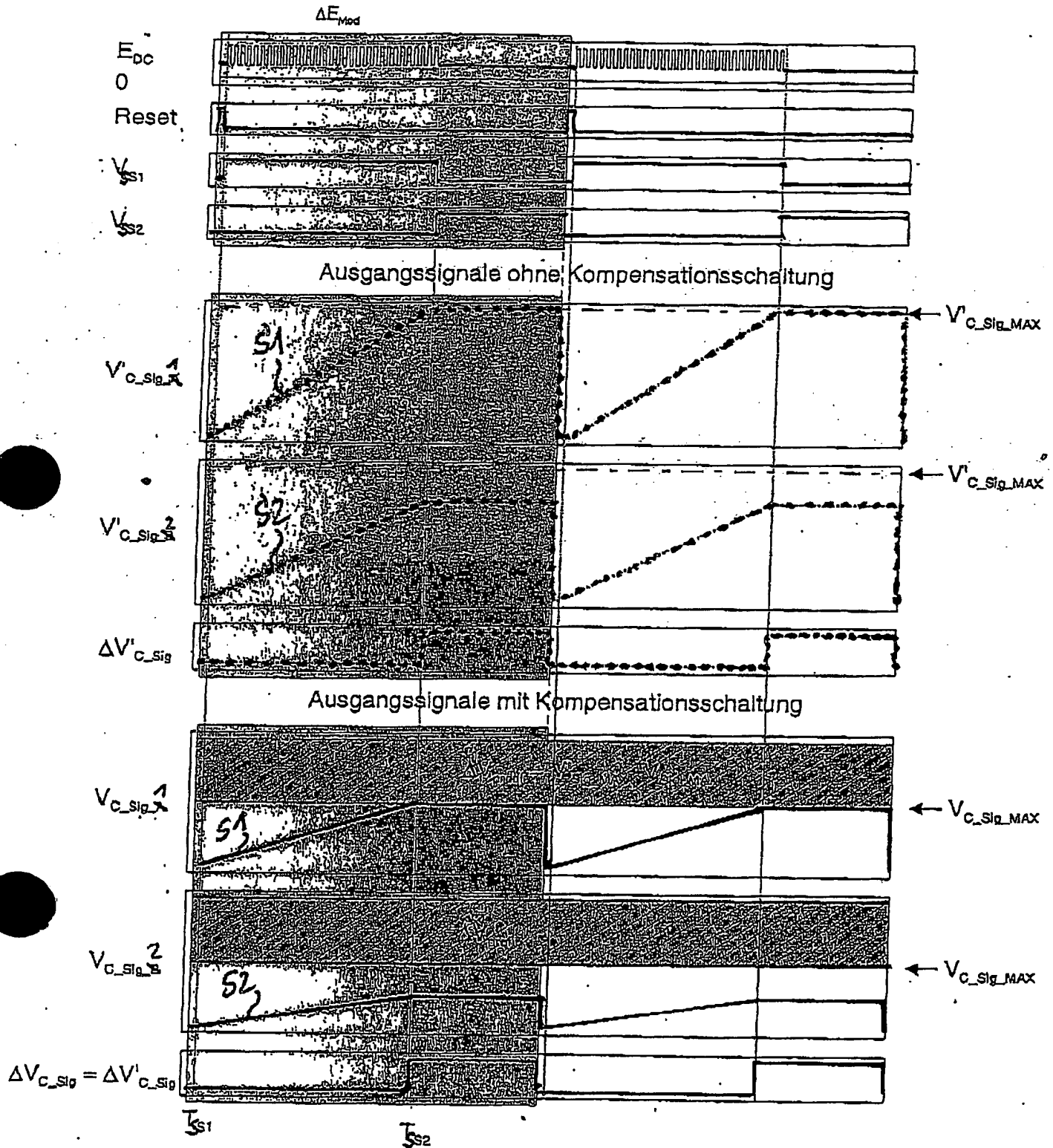


Figur 3

1,1a



Figur 4



Figur 5

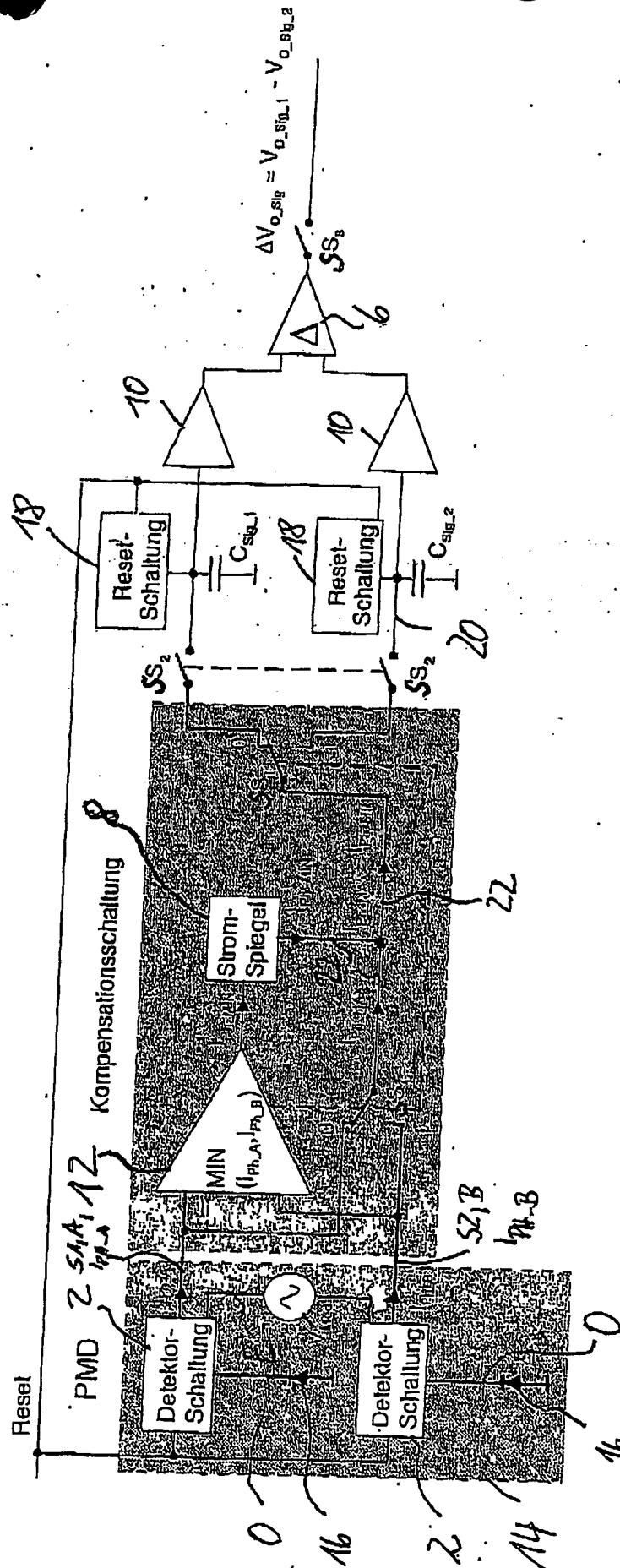
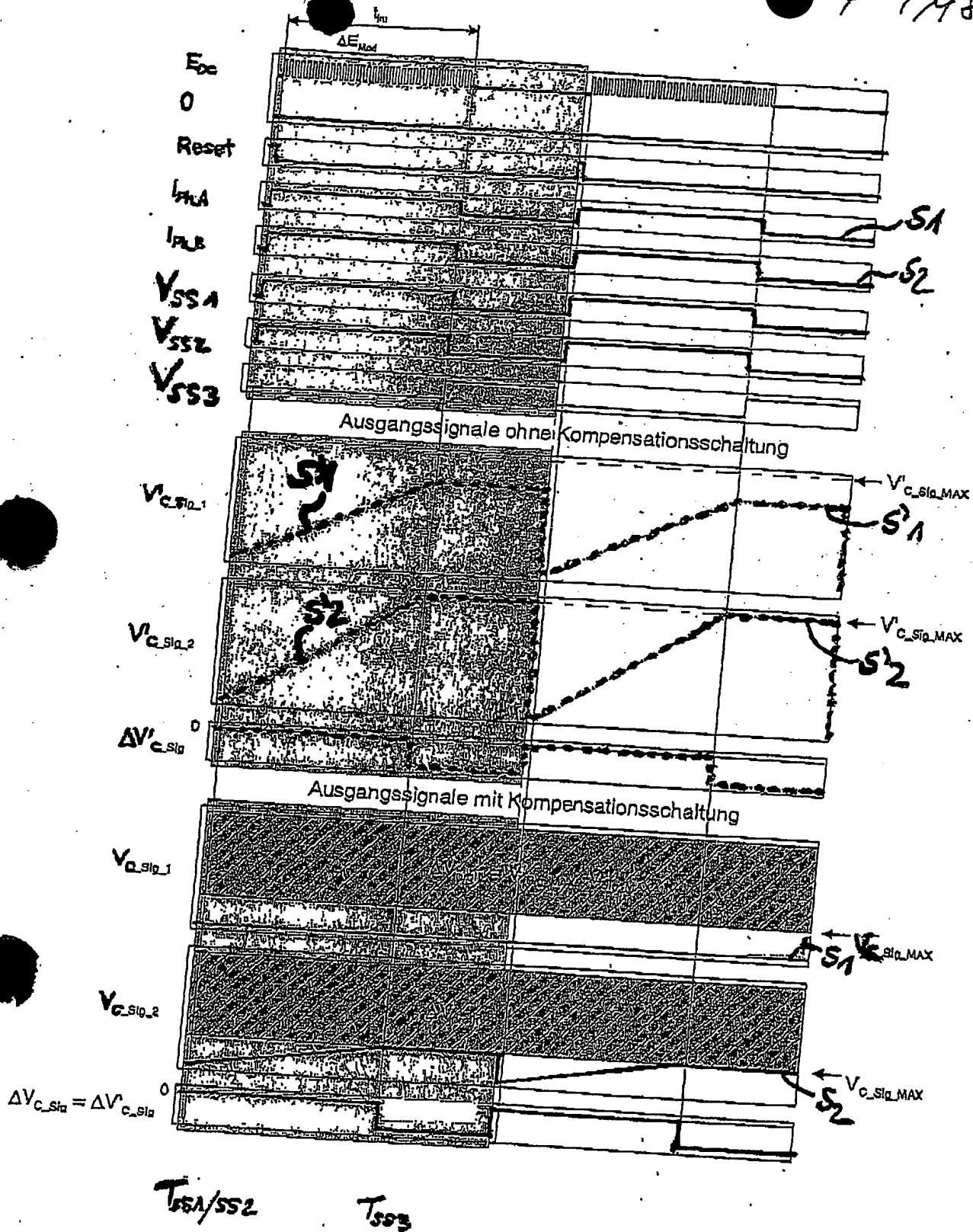


Figure 6



Figur 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.